

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関  
国際事務局



(43)国際公開日  
2004年9月30日 (30.09.2004)

PCT

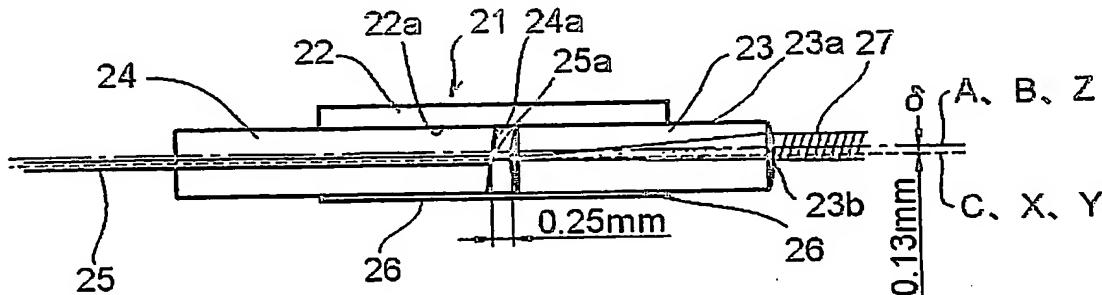
(10)国際公開番号  
WO 2004/083924 A1

- (51)国際特許分類<sup>7</sup>: G02B 6/32
- (21)国際出願番号: PCT/JP2004/003840
- (22)国際出願日: 2004年3月22日 (22.03.2004)
- (25)国際出願の言語: 日本語
- (26)国際公開の言語: 日本語
- (30)優先権データ:  
特願2003-077487 2003年3月20日 (20.03.2003) JP
- (71)出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本電気硝子株式会社 (NIPPON ELECTRIC GLASS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5208639 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 Shiga (JP).
- (72)発明者; および
- (75)発明者/出願人(米国についてのみ): 田中 宏和 (TANAKA, Hirokazu) [JP/JP]; 〒5208639 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内
- Shiga (JP). 船引 伸夫 (FUNABIKI, Nobuo) [JP/JP]; 〒5208639 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内 Shiga (JP).
- (74)代理人: 江原 省吾, 外 (EHARA, Syogo et al.); 〒5500002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 江原特許事務所 Osaka (JP).
- (81)指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84)指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

[続葉有]

(54)Title: OPTICAL COLLIMATOR

(54)発明の名称: 光コリメータ



WO 2004/083924 A1

(57)Abstract: An optical collimator (21), comprising a glass-made partially spherical surface lens (23) having light transmission spherical faces (23b) with a same curvature center at both ends of a cylindrical part (23a), a glass-made or a crystallized glass-made capillary (24) holding an optical fiber (25) with a tilted end face (25a) at the center thereof, and a glass-made or a crystallized glass-made eccentric sleeve (22) having an inner hole (22a) for fixedly inserting the partially spherical surface lens (23) and the capillary (24) therein. The optical axis Z of parallel light (27) is within the range of 0.02 mm in radius about the center axis B of the outer peripheral surface of the eccentric sleeve (22), and within the range of 0.2° in angle relative to the center axis B of the outer peripheral surface of the eccentric sleeve (22).

(57)要約: 光コリメータ21は、円柱部23aの両端に曲率中心が同じ透光球面23bを有するガラス製部分球面レンズ23と、中心に端面25aが傾斜した光ファイバ25を保持したガラスまたは結晶化ガラス製の毛細管24と、部分球面レンズ23及び毛細管24を挿着する内孔22aを有するガラスまたは結晶化ガラス製の偏心スリーブ22とを備え、平行光27の光軸Zが偏心スリーブ22の外周面の中心軸Bを中心とする半径0.02mm以内の範囲にあり、且つ偏心スリーブ22の外周面の中心軸Bに対して0.2°以内の角度範囲にある。



SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCT gazetteの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

- 國際調査報告書

## 明細書

## 光コリメータ

## 技術分野

本発明は、光通信用の光ファイバを中心に保持した毛細管と球レンズを円柱状に加工した部分球面レンズとこれらを軸合わせする偏心スリーブとを使用した光コリメータに関する。

## 背景技術

高速大容量の光ファイバ通信システムを構築する際には多くの光デバイスが使用されており、その中には複数の波長が多重化された光信号から任意波長の光信号を取り出すものや、光信号の位相を合わせるための光学結晶体を用いるもの等があり、光ファイバから出射されて広がった光信号を平行光にする、あるいは平行光を光ファイバへ集光させる多数の光コリメータが用いられる。

また、回転軸に取りつけてその動きを検出するロータリーエンコーダなどの光パルスを検出する方式の各種センサに、光コリメータを用いる場合がある。

従来の部分球面レンズ3を用いた光コリメータ1は、図9に示すように、同心構造のスリーブ2の内孔2aに、部分球面レンズ3と、内部に光ファイバ5を保持し、その端面5aからの反射戻り光を防止するために斜め研磨面4aを有する同心構造の毛細管4とを挿入し、光コリメータ1として正しく作動するように光学的に適切な位置関係になるように調心を行い、接着剤6で固着することにより作製している。

このような光学系に関する従来技術の文献として特許文献1には、部分球面レンズを用いた光コリメータの中心軸に対して入射／出射する平行光の偏心を無くすために、斜研磨光学素子により解決を図る方法が開

示されている。特許文献 2 には、レンズから出射するビームの光軸が光ファイバの光軸と平行であるコリメータが開示されており、特許文献 3 には、レンズの中心に対して光ファイバの光軸を偏心させ、レンズの中心とレンズに入射する光ビームの中心がほぼ一致するような光ファイバコリメータが開示されている。さらに、特許文献 4 には、管状ハウジングの中心が球レンズを経て出る平行な光ビームの中心線として定義された光コネクタが開示されている。また、特許文献 5 には、端部を斜め研磨したファイバの斜め研磨角度に応じて、光ファイバとレンズの中心軸に並進ズレを持たせ、平行ビーム結合する光コリメータが開示されている。

【特許文献 1】特開 2001-56418 号公報

【特許文献 2】特開平 5-157992 号公報

【特許文献 3】特開 2002-196180 号公報

【特許文献 4】特開平 2-111904 号公報

【特許文献 5】特開昭 62-235909 号公報

上記のような従来の構造では、同心構造のスリーブ 2 を用いているので、図 9 に示すように、内部に光ファイバ 5 を保持し、その端面 5a からの反射戻り光を防止するために斜め研磨面 4a を有する同心構造の毛細管 4 を用いると、光ファイバ 5 の端面 5a から屈折の法則に従って光コリメータ 1 の中心軸 A に対して斜め方向に光が出射し、その結果、光コリメータ 1 から出射される平行光 7 には、その平行光 7 の光軸 Z と光コリメータ 1 の中心軸 Aとの間に偏心 δ が発生するという問題点がある。

また、図 10 に示すように、従来の構造の光コリメータ 1 と光機能素子 8a を用いて光機能部品 8 を組立てる場合には、平行光 7 が光コリメータ 1 の中心軸 A に対して偏心しているため、それぞれの光コリメータ 1 の偏心方向を正確に一致させる必要があり、作業性が非常に悪くなるという問題点もある。

さらに、図11に示すように、平行光17が光コリメータ11の中心軸Aから入射／出射するように、光ファイバ15を内部に保持し、端面14aに斜め研磨が施されていない同心構造の毛細管14と同心構造のスリーブ12を用いて解決を試みた場合、斜め研磨の効果による反射減衰量が得られなくなるので、光ファイバ15の端面15a、および部分球面レンズ13の透光球面部13bからの反射戻り光が非常に大きくなり、その表面にそれぞれ反射防止膜を施したとしても、反射戻り光を充分阻止することはできない。この反射戻り光がレーザー光源などに悪影響を及ぼすので、高速大容量の光ファイバ通信システムを構築する際には実用上大きな問題点となる。

また、特許文献1の方法によっても、両端面が平行に斜め研磨された斜研磨光学素子を用いる場合（第5頁、第1図）は、平行光が光コリメータの中心軸に対して入射／出射するように精密な調心作業が必要となり、作業性が非常に悪くなる。また光路中に斜研磨光学素子を挿入するので光コリメータの挿入損失が増大し、高速大容量の光ファイバ通信システムを構築する際には、この増大した挿入損失が問題点となる。

さらに、内径の中心を外径の中心からずらした金属などを切削により作製した軸外し円筒状ホルダーを用いる場合（第7頁、第9図）も、外径と内径の中心を僅かにずらせるという精密な加工を必要とする欠点もある。また、金属製の軸外し円筒状ホルダーと、光ファイバを内部に保持する毛細管、および部分球面レンズとの間には熱膨張係数差があるので、その差が大きい場合には、使用時の温度変化によって個々の構成要素の膨張量あるいは収縮量が異なるため、光学的特性に狂いが生じる恐れがある。特に、このような膨張差が生じることにより部分球面レンズに応力が集中した場合には、屈折率や分散などの光学的特性の狂いに起因するトラブルが増大し、光学系としての安定性に問題点がある。

このため、高温時や低温時等のように室温と大幅に異なる温度条件下では、スリーブと毛細管および部分球面レンズとの接着部に剥離が生

じて本質的な部品特性が阻害されるばかりでなく、部分球面レンズに歪が生じて透過光量が変化したり、偏波特性が変化したり、或いは安定したコリメート光が得られなくなる等の不具合を招く。その結果、この種の光通信用デバイスの使用環境が限られてしまうことになり、特に屋外での使用が大幅に制限されると共に、光デバイスに組込む際には高精度な光学的特性が要求されるため、使用可能な温度範囲が極めて狭小になり、使用時における制限が一層厳格になるという問題を有している。

また、特許文献 2 に開示されているとおり、レンズから出射するビームは入力側マウントの軸と平行ではあるが、一致することはなく、入力側マウントの軸とある距離を有する平行ビームにしかならない（第 5 頁、第 3 図）ので、マウントの軸を中心に回転させながら、光コリメータどうしの調心を行う必要がある。

また、特許文献 3 に開示されているとおり、屈折率分布型ロッドレンズの中心に対して光ファイバの光軸を偏心させ、屈折率分布型ロッドレンズの中心と、そのレンズに入射する光ビームの中心がほぼ一致するよう構成されている（第 5 頁、第 1 図）が、屈折率分布型ロッドレンズの代わりに球レンズを用いた場合、レンズの中心に対して光ファイバの光軸を偏心させているため、出射される光ビームは光ファイバの光軸と一致しない。

また、特許文献 4 に開示されているとおり、光ファイバのコア中心線と光ビームの光軸が一致していない（第 6 頁、第 2 図）ので、例えば、光検出器を用いて光ビームの光軸と機械軸を一致させた上で、管状ハウジングを機械加工する（第 6 頁、第 3 図）必要がある。また、所望の寸法を有する平らな面を有する球レンズを用いる場合（第 6 頁、第 4 図）は、組立時に、その平らな面と光ファイバから出射したビームの光軸とのなす角度を厳密に調心しなければならない。

また、特許文献 5 に開示されているとおり、端部を斜め研磨した光ファイバの斜め研磨角度に応じて、光ファイバとレンズの中心軸に並進ズ

レを持たせ、平行ビーム結合する光コリメータの場合（第4頁、第1図）は、出射する平行ビームの光軸が光ファイバの中心軸と一致しないため、光コリメータどうしの調心作業に労力を費やすこととなる。

さらに、従来の光コリメータ1を用いて光コリメータ1どうしの調心作業を行う場合、光コリメータ1の中心軸Aと平行光7の光軸Zとの間に偏心δが発生するため、例えば、1本の精密なV溝上に光コリメータ1をそれらの作動距離となる位置で、かつ、各スリープ2の外周面の中心軸Bが相互に一致した状態に対向させただけでは、一方の光ファイバ5から光を導入した際に、他方の光ファイバ5から十分な光の応答が得られないで、光軸の自動調心装置などが使用可能となるように、光の十分な応答が得られる状態まで手動で調心作業を行う必要がある。

また、光コリメータを構成する各部材に金属を用いた場合、1Tesla以上、即ち10000Gauss以上の高磁場中で用いると電磁誘導の影響を受け、金属中に強力な渦電流が流れることで、金属部品が破損する恐れがある。さらに、金属部品自体が高磁場から引力を受けることで、金属部品内部の応力で形状に歪みが発生し、光コリメータとしての光学特性を維持することが困難になる。

### 発明の開示

本発明の目的は、光機能部品などの組立を行う際に、従来の同心構造のスリープを用いた光コリメータのように、入射／出射する平行光の偏心方向を一致させるための調心作業を必要とせず、平行光が光コリメータの中心軸に対して入射／出射する光コリメータを提供することである。

本発明の他の目的は、温度条件が多種にわたる使用時における偏心スリープと部分球面レンズ及び毛細管との熱膨張係数差に起因する光学的特性の悪化を可及的に低減させると共に、1Tesla以上の中でも電磁誘導の悪影響を受けない光コリメータを提供することである。

本発明に係る光コリメータは、円筒状の偏心スリーブと、該偏心スリーブ内に円柱部が挿着され、円柱部の両端に曲率中心が略同一の透光球面を有する部分球面レンズと、該偏心スリーブ内に挿着され、中心に光ファイバを保持して傾斜している端面を部分球面レンズに向けた毛細管とを備えた光コリメータであって、前記偏心スリーブがガラスまたは結晶化ガラスからなることを特徴とする。

光コリメータに使用する偏心スリーブが、金属製であると周囲の温度変化に対して大きく膨張収縮を起こすので、それに伴い光路長も変化し、安定した光学性能が得られない。また、高精度の金属製の偏心スリーブを作製するには、精密円筒研削機等を使用して一本毎にマイクロメートル精度の研削加工が必要となり、供給能力及び製造コストの点で、支障がある。さらに、近年、光通信に使用される光デバイスの小型化・高密度実装化の進展に伴い、小型の光コリメータが要求されているが、シングルモード光ファイバ等を使用する光通信デバイスに用いられるような小型でかつ高精度な金属製偏心スリーブを作製すること自体がほとんど不可能に近いというのが現実である。本発明の光コリメータに使用する偏心スリーブとしては、従来よりも小型で高精度な偏心スリーブを連続的に精密成形が可能で、供給能力及び製造コストの点で有利なガラスまたは結晶化ガラスからなることが重要である。

具体的には、光コリメータ21は、図1(A)、(B)に示すように、屈折率が略均一なガラスからなる円柱部23aの両端に曲率中心が略同一の透光球面23bを有する部分球面レンズ23と、中心に端面25aが傾斜している光ファイバ25を保持した毛細管24と、ガラスまたは結晶化ガラスからなり、光軸に対して略垂直な部分球面レンズ23の直径及び毛細管24の外径よりも僅かに大きい内孔22aを有する円筒状の偏心スリーブ22とを備え、部分球面レンズ23の透光球面23bから入射／出射する平行光27の光軸Zが、偏心スリーブ22の外周面の中心軸Bを中心とする半径0.02mm以内の範囲にあり、且つ偏心ス

リープ 2 2 の外周面の中心軸 B に対して 0 . 2 ° 以内の角度範囲内にあることが好ましい。

また、本発明の光コリメータ 2 1 は、一対の前記光コリメータ 2 1 をそれらの作動距離となる位置で、かつ、各偏心スリープ 2 2 の外周面の中心軸 B が相互に一致した状態で対向配置させ、一方の光ファイバ 2 5 から光信号を導入したとき、他方の光ファイバ 2 5 から入力に対して - 3 0 d B 以上の光の応答が得られるものであることを特徴とする。

図 1 に示す本発明の光コリメータ 2 1 は、図 3 に示す屈折率が略均一なガラスからなる円柱部 2 3 a の両端に曲率中心が略同一の透光球面 2 3 b を有する部分球面レンズ 2 3 と、図 2 に示す内部に光ファイバ 2 5 を保持している同心構造の毛細管 2 4 を、平行光 2 7 が光コリメータ 2 1 の中心軸 A に対して偏心しないように、図 4 に示す予め偏心させた偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a へ挿入し、光コリメータ 2 1 として正しく作動するように光学的に適切な位置となるように固定されてなるものであり、平行光 2 7 の光軸 Z が偏心スリープの外周面の中心軸 B に対して 0 . 0 2 mm 以内の範囲から 0 . 2 ° 以内の角度で入射／出射することが可能なものである。

本発明の光コリメータ 2 1 を構成する同心構造の毛細管 2 4 は、図 2 に示すように、光ファイバ 2 5 が毛細管 2 4 の外周面の中心軸 Y 上に固定されているので、図 3 に示す部分球面レンズ 2 3 と光ファイバ 2 5 を内部に保持した同心構造の毛細管 2 4 を、平行光 2 7 の光軸 Z が光コリメータ 2 1 の中心軸 A に対して偏心しないように、図 4 に示す偏心スリープ 2 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a の中心軸 C とを予め偏心させた偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a に光コリメータ 2 1 として正しく作動するように光学的に適切な位置に固定すれば、図 1 に示すように平行光 2 7 が光コリメータ 2 1 の中心軸 A から入射／出射する光コリメータ 2 1 が得られる。

また、本発明の光コリメータ21を構成する部分球面レンズ23は、図3に示すように、屈折率が略均一なガラスからなる円柱部23aの両端に曲率中心が略同一の反射防止膜が施された透光球面23bを有し、部分球面レンズ23の外周面の中心軸Xが光軸となっている。

これに対して、先出の図9に示すように、光軸が外周面の中心軸Xにある部分球面レンズ3と、内部に光ファイバ5を保持した同心構造の毛細管4を、同心構造のスリープ2の内孔2aへ挿入し光コリメータ1に組立てると、平行光7は光コリメータ1の中心軸Aから入射／出射しない。

本発明で使用する部分球面レンズ23としては、屈折率が略均一な光学ガラス等からなり、真球状に加工することにより高い焦点精度を有する球レンズが作製できる材料であれば使用可能であり、光コリメータ21の小型化、細径化のため、高い真球度を有する球レンズの周囲を研削して作製した部分球面レンズ23が適している。部分球面レンズ23に用いるガラスとしては、光学ガラスのBK7、K3、TaF3、LaF01、LaSF015等を用いることが望ましい。

また、本発明で使用する平行光27の光軸Zが光コリメータ21の中心軸Aに対して偏心しないように、偏心スリープ22の外周面の中心軸Bと偏心スリープ22の内孔22aの中心軸Cとを予めδ偏心させた偏心スリープ22は、図4に示すように、ガラスあるいは結晶化ガラスからなり、ドローイング法により高精度に安定して効率よく安価に作製することができる。さらに、軟化状態のガラスを延伸するドローイング法により作製しているので、偏心スリープの表面はファイヤーポリッシュされている。

図1に示す光コリメータ21を構成する光学ガラスLaSF015製の部分球面レンズ23の熱膨張係数を $74 \times 10^{-7}/K$ 、硼珪酸ガラス製のスリープ22の熱膨張係数を $51 \times 10^{-7}/K$ 、および結晶化ガラス製の毛細管24の熱膨張係数を $27 \times 10^{-7}/K$ とすると、環

境温度が 60 °C 変動した時、相互の熱膨張係数差に起因する光コリメータ 21 の中心軸 A に対する平行光 27 の光軸 Z の偏心量 δ の変化は、0.0003 mm (0.3 μm) 以下となる。また、平行光 27 の出射偏角 (ビーム傾き角) の変化は、0.01° 以下である。

一方、偏心スリープ 22 として、一般的なステンレス鋼である S U S 304 (熱膨張係数 :  $184 \times 10^{-7} / K$ ) を用いた場合、相互の熱膨張係数差が  $100 \times 10^{-7} / K$  以上となり、これに起因する光コリメータ 11 の中心軸 A に対する平行光 27 の光軸 Z の偏心量の変化は、0.0009 mm (0.9 μm) 程度、平行光 27 の出射偏角 (ビーム傾き角) の変化は、0.03° 程度と、それぞれ硼珪酸ガラス製のスリープ 22 を用いた場合と比較すると 3 倍程度悪化する。

したがって、相互の熱膨張係数差が  $50 \times 10^{-7} / K$  以内の部材を用いて光コリメータを作製することが、環境温度の変化に対して安定した光学特性を有する光コリメータ 21 を作製する上で重要である。

また、本発明の光コリメータ 21 は、電気絶縁体のガラスまたは結晶化ガラスからなる部分球面レンズ、毛細管、及び偏心スリープにより作製され、1 Tesla 以上の高磁場中で電磁誘導による渦電流を実質的に起こさないことを特徴とする。

偏心スリープ 22 として、マルテンサイト系ステンレス鋼である S U S 410 やフェライト系ステンレス鋼である S U S 430 を 1 Tesla 以上、即ち 10000 Gauss 以上の高磁場中で用いた場合、電磁誘導の影響を受け、偏心スリープ 22 中に強力な渦電流が流れ、偏心スリープ 22 が破損する恐れがある。さらに、偏心スリープ 22 自体が高磁場から引力を受けることで、応力により形状に歪みが発生し、光コリメータとしての光学特性を維持することが困難になる恐れがある。そのため、本発明の光コリメータ 21 には、1 Tesla 以上、即ち 10000 Gauss 以上の高磁場中でも、渦電流などの電磁誘導の影響を受けない、電気絶縁体のガラスまたは結晶化ガラスからなる、部分球面レ

ンズ 23、毛細管 24、及び偏心スリーブ 22 を用いることが重要である。

本発明の光コリメータは、円筒状の偏心スリーブと、該偏心スリーブ内に円柱部が挿着され、円柱部の両端に曲率中心が略同一の透光球面を有する部分球面レンズと、該偏心スリーブ内に挿着され、中心に光ファイバを保持して傾斜している端面を部分球面レンズに向けた毛細管とを備えた光コリメータであって、前記偏心スリーブがガラスまたは結晶化ガラスからなるので、小さい寸法の光コリメータを作製する際に、ガラスの精密成形技術が使用可能であることから、金属製のものに比べて高精度かつ安価な偏心スリーブが得られ、従来にない小さい寸法で高密度に実装可能な光コリメータを実現することができる。

具体的には、光コリメータ 21 は、屈折率が略均一なガラスからなる円柱部 23a の両端に曲率中心が略同一の透光球面 23b を有する部分球面レンズ 23 と、内部に光ファイバ 25 を保持している同心構造の毛細管 24 を、平行光 27 の光軸 Z が光コリメータ 21 の中心軸 A に対して偏心しないように、偏心スリーブ 22 の外周面の中心軸 B と偏心スリーブ 22 の内孔 22a の中心軸 C とを予め偏心させた偏心スリーブ 22 の内孔 22a へ挿入し、光コリメータ 21 として正しく作動するよう光学的に適切な位置に固定されてなるので、光機能部品 8 などの組立を行う際に、先記した従来の同心構造のスリーブ 2 を用いた光コリメータ 1 のように、入射／出射する平行光 7 の光軸 Z の偏心方向を一致させるための調心作業を必要とせず、平行光 27 の光軸 Z が光コリメータ 21 の中心軸 A に対して入射／出射する光コリメータ 21 を作製することができると共に、温度条件が多種にわたる使用時における偏心スリーブ 22 と部分球面レンズ 23 および毛細管 24 との熱膨張係数差に起因する光学的特性の悪化を最小限に留めた光コリメータ 21 を作製することができる。そのため、高い信頼性を有する光機能部品や各種センサなどを作製することが可能となる。

本発明の光コリメータ 21 は、一対の前記光コリメータ 21 をそれらの作動距離となる位置で、かつ、各偏心スリープ 22 の外周面の中心軸 B が相互に一致した状態で対向配置させ、一方の光ファイバ 25 から光信号を導入したとき、他方の光ファイバ 25 から入力に対して -30 dB 以上の光の応答が得られるものであるので、煩わしい手動での調心作業を行う必要がなく、光軸の自動調心装置などを用いて対向配置させた光コリメータ対の光軸調心を簡単に行うことができ、光デバイスの組立を従来に無い高い効率で実現可能となる。

本発明の光コリメータ 21 は、偏心スリープ 22 が、ガラスまたは結晶化ガラスからなるので、高精度の円筒度、および偏心量（軸外し量とも称す）をドローイング法で達成することができ、且つ、安定して効率よく大量に作製することが可能である。さらに、偏心スリープ 22 の表面はファイヤーポリッシュされており、表面を研磨する必要が無いので、安価に作製できる効果を有する。

本発明の光コリメータ 21 は、毛細管 24 が、ガラスまたは結晶化ガラスからなるので、偏心スリープ 22 と同様に、高精度の円筒度をドローイング法で達成することが可能であると同時に、表面がファイヤーポリッシュされているので、表面を研磨する必要がなく、安定して効率よく安価に作製できる効果を有する。

本発明の光コリメータ 21 は、偏心スリープ 22、部分球面レンズ 23 及び毛細管 24 の相互の熱膨張係数差が  $50 \times 10^{-7} / K$  以内であるので、偏心スリープ 22、部分球面レンズ 23 及び毛細管 24 の相互の熱膨張係数差に起因する光学的特性の悪化を最小限に留め、環境温度の変化に対して安定した性能を維持可能な光コリメータ 21 を実現することができ、実用上優れた効果を奏するものである。

本発明の光コリメータ 21 は、部分球面レンズ 23、毛細管 24、及び偏心スリープ 22 が、電気絶縁体のガラスまたは結晶化ガラスからなるので、1 Tesla 以上、即ち 10000 Gauss 以上の高磁場中

でも電磁誘導の影響を受けないので、電磁誘導に起因する光学特性の悪化を受けない光コリメータ 21 を実現することができる。

一般的に、光は真空中では静磁場による影響は受けないが、物質中や物質の表面で反射された光は、磁場（物質中の磁束）の影響を受けることが知られており、これらはファラデー効果や磁気カ一効果と呼ばれる物質の磁気的性質が光の偏り（以下偏光）に及ぼす作用があるが、ファラデー効果は、物質に直線偏光を通すと磁場の強さと共に光の偏光面が回転する現象であり、磁気カ一効果は、物質に直線偏光が入射したとき、主軸の向きが入射直線偏光の向きから傾いた楕円偏光が反射する現象で、どちらの効果も、偏光に作用するのみであり、回転軸に取りつけてその動きを検出するロータリーエンコーダなどの光パルスを検出する方式の各種センサ用途としては、光学特性上問題となることはない。

また、本発明の光コリメータ 21 は、最大直径が 2 mm 未満であることを特徴とし、最大直径が 1.5 mm 未満であることが好ましい。

本発明で光コリメータ 21 は、その偏心スリーブ 22 の外径等の最大直径が 2 mm 未満であると、光コリメータ 21 を使用する光デバイスの小型化、及び光コリメータ 21 の高密度な配列が可能となる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は本発明の光コリメータの説明図であって、図 1 (A) は光軸に対して平行な方向の断面図、図 1 (B) は光軸に対して垂直な方向の断面図、図 1 (C) は V 溝上に光コリメータを対向させた性能評価の説明図である。

図 2 は本発明の光コリメータに使用する内部に光ファイバを保持した毛細管の説明図であって、図 2 (A) は光軸に対して平行な方向の断面図、図 2 (B) は光軸に対して垂直な方向の断面図である。

図3は本発明の光コリメータに使用する部分球面レンズの説明図であって、図3（A）は光軸に対して平行な方向の断面図、図3（B）は光軸に対して垂直な方向の断面図である。

図4は本発明の光コリメータに使用する偏心スリーブの説明図であって、図4（A）は光軸に対して平行な方向の断面図、図4（B）は光軸に対して垂直な方向の断面図である。

図5は本発明の長作動距離を有する光コリメータの説明図であって、図5（A）は光軸に対して平行な方向の断面図、図5（B）は光軸に対して垂直な方向の断面図である。

図6は光コリメータを用いたロータリーエンコーダの説明図である。

図7は光コリメータを用いた回転方向を検出可能なロータリーエンコーダの説明図である。

図8はロータリーエンコーダの $\alpha$ 相および $\beta$ 相の信号処理の説明図である。

図9は従来の光コリメータの説明図であって、図9（A）は光軸に対して平行な方向の断面図、図9（B）は光軸に対して垂直な方向の断面図である。

図10は従来の光コリメータを用いた光機能部品の断面図である。

図11は光ファイバ端面に斜め研磨を施さない場合の光コリメータの断面図である。

### 発明を実施するための最良の形態

本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

#### [実施例1]

図1は、本発明の一例を示す光コリメータ21の説明図である。図中22は偏心スリーブとしてガラス製の偏心チューブを、23は部分球面

レンズを、26は接着剤を、24は同心構造の毛細管を、25は光ファイバをそれぞれ示している。

図1中の光コリメータ21を構成する偏心スリーブ22を予め偏心させる量 $\delta$ は、

$n_1$ ：光ファイバ25のコア部の屈折率

$n_2$ ：大気中の場合は空気の屈折率

$n_3$ ：部分球面レンズ23の屈折率

$r$ ：部分球面レンズ23の曲率半径

$\theta$ ：光ファイバ25の端面25aの斜め研磨角度

とすると、以下のように表される。

### 【数1】

$$\delta = \frac{n_3}{2(n_3 - n_2)} \cdot r \cdot \tan \left[ \left\{ \arcsin \left( \frac{n_1}{n_2} \sin \theta \right) \right\} - \theta \right]$$

表1に部分球面レンズ23の硝材として光学ガラスLaSF015を使用した光コリメータ21の各パラメータの例を示す。

表1

項目	値
$n_1$	1.4492
$n_2$	1.0
$n_3$	1.7753
$r$	1.75mm
$\theta$	8.0°

上記の各パラメータを用いて数1により偏心量 $\delta$ を計算すると0.13mmとなる。したがって、図1に示す構造の光コリメータ21に用い

る偏心スリーブ 2 2 の偏心量  $\delta$  は、表 1 に示すパラメータの場合、0.13 mm とすればよい。

本発明の光コリメータ 2 1 は、図 1 (A)、(B) に示すように、偏心スリーブ 2 2 の外周面の直径が 1.4 mm で偏心スリーブ 2 2 の内孔 2 2 a の直径が 1.0 mm となる、偏心スリーブ 2 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリーブ 2 2 の内孔の中心軸 C との偏心量  $\delta$  (軸外し量) が 0.13 mm の全長が 5.0 mm のガラス製の偏心スリーブ 2 2 と、偏心スリーブ 2 2 の内孔 2 2 a に固定され屈折率が略均一な光学ガラス LaSF015 からなり、円柱部 2 3 a の両端に曲率中心が略同一の透光球面 2 3 b を有する曲率半径  $r$  が 1.75 mm の部分球面レンズ 2 3 と、偏心スリーブ 2 2 の内孔 2 2 a に部分球面レンズ 2 3 を接着するエポキシ系樹脂からなる接着剤 2 6 を備えている。部分球面レンズ 2 3 の透光球面 2 3 b には光信号の反射を低減するために、図示しない反射防止膜が形成されている。また、外周面の直径が 1.0 mm で全長が 4.3 mm の同心構造の毛細管 2 4 は、内部に保持した光ファイバ 2 5 の端面 2 5 a からの反射戻り光を低減するために、毛細管 2 4 の外周面の中心軸 Y に垂直な平面に対して 8° に斜め研磨し、且つ端面 2 5 a に図示しない反射防止膜が形成されており、偏心スリーブ 2 2 の内孔 2 2 a に同心構造の毛細管 2 4 を接着するエポキシ系樹脂からなる接着剤 2 6 を備えている。

本発明の光コリメータ 2 1 は、光ファイバ 2 5 の端面 2 5 a と部分球面レンズ 2 3 の透光球面 2 3 b が、光コリメータ 2 1 として正しく作動するように光学的に適切な距離 0.25 mm となる位置にエポキシ系樹脂からなる接着剤 2 6 により固定されているものである。

次に、光コリメータ 2 1 の挿入損失、反射減衰量 (リターンロス) 、平行光 2 7 の出射偏角 (ビーム傾き角) 、及び光コリメータ 2 1 の中心軸 A に対する平行光 2 7 の光軸 Z の偏心量 (光軸偏心) の例を表 2 に示す。

表 2

挿入損失	反射減衰量	出射偏角	平行光の光軸偏心
0. 2 dB 以下	60 dB 以上	0. 1° 以下	0. 015 mm 以下

これらの測定には波長 1550 nm の光を用い、また、挿入損失については、光コリメータ 21 を 2 個用いて作動距離が 17.5 mm となるように対向配置した状態で測定を行う。ここで作動距離とは、光コリメータ 21 を対向配置した際に、それぞれの部分球面レンズ 23 の外側の透光球面 23b 間の空間の距離のことである。

表 2 のように、挿入損失および反射減衰量は従来品と同等あるいはそれ以上の性能を発揮しており、実用上何ら問題は無い。

また、出射偏角は 0.1° 以下と従来品と比較すると非常に良い値となっている。さらに、光コリメータ 21 の中心軸 A に対する平行光 27 の光軸 Z の偏心量が 0.015 mm 以下となっているので、例えば、図 1 (C) に示すように、V 溝基板 28 の V 溝 28a 上に光コリメータ 21 をそれらの作動距離となる位置で、かつ、各偏心スリーブ 22 の外周面の中心軸 B が相互に一致した状態で対向させて搭載すると、無調心の状態でも光信号の応答が得られるので、光コリメータ 21 どうしの調心作業が必要な光機能部品を自動調心装置などを用いて組立てる際、従来品に比べて、作業効率が著しく向上する。例えば、波長 1550 nm の光を用い、光コリメータ 21 を 2 個用いて作動距離が 17.5 mm となるように 1 本の V 溝上に対向配置させ、無調心の状態で挿入損失を測定した。その際の挿入損失の値は 1.5 dB 程度であった。

このように、1 本の V 溝に無調心の状態で搭載するだけで、自動調心装置が作動する -30 dB 以上の光信号の応答、即ち、このような光学系で種々の光学系で測定したところ、殆どのもので -10 dB 以上の光信号の応答が得られ、通常に加工されたものでは入力信号に対して -5

$d_B \sim - 1 d_B$  の範囲の十分な光信号の応答が得られるものであった。このように簡単に十分な光信号の応答が得られるので、従来品にない性能を発揮している。

次に、光コリメータ 2 1 の組立方法について説明する。

まず、相似形の母材を加熱・延伸成形すること等により、外周面の直径が 1.0 mm 未満で、光ファイバ 2 5 の直径よりも僅かに大きい内径を有する長尺の毛細管を作製する。次に、長尺の毛細管を適度な長さに切断し、図 2 に示すように、毛細管 2 4 の内孔に光ファイバ 2 5 を挿入・接着した後、毛細管 2 4 の外周面の中心軸 Y に垂直な平面に対して 8° に研磨し、さらに光ファイバ 2 5 の端面 2 5 a に図示しない反射防止膜を形成することで外周面の直径が 1.0 mm 未満で全長が 4.3 m の毛細管 1 4 の外周面の中心軸 Y が光軸となる毛細管 2 4 を作製する。なお、毛細管 2 4 の外周面には、光ファイバ 2 5 の端面 2 5 a へ施した 8° 研磨の方向を表示するマーキングまたはオリフラ加工部（図示省略）が施されている。

また、図 3 の破線で示すような、真球度が高く安価に入手が可能な球レンズを材料として使用し、図示しない研削機で円柱状に研削する。このようにして直径が 1.0 mm 未満で屈折率が略均一なガラスからなる円柱部 2 3 a の両端に曲率中心が同一で曲率半径  $r$  が 1.75 mm の透光球面 2 3 b を有し、且つ部分球面レンズ 2 3 の外周面の中心軸 X が光軸となる部分球面レンズ 2 3 を作製する。

次に、相似形の母材を加熱・延伸成形すること等により、図 4 に示すような偏心スリープ 2 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a の中心軸 C との偏心量  $\delta$  が 0.13 mm で、偏心スリープ 2 2 の外周面の直径が 1.4 mm、偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a の直径が 1.0 mm の透明なガラス製の偏心スリープ 2 2 を作製する。この偏心スリープ 2 2 の外周面に、偏心スリープ 2 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリープ 2 2 の内孔 2 2 a の中心軸 C との偏心方向を合わせるマーキングま

たはオリフラ加工部（図示省略）が施されると光コリメータ21の組立が容易になる。

次いで、偏心スリーブ22の内孔22aに部分球面レンズ23を挿入し、接着剤26で固着する。接着剤26が完全に硬化した後に、毛細管24を挿入し、互いのマーキングを合わせて位置決めを行い、光ファイバ25の端面25aと部分球面レンズ23の透光球面23bとの距離が0.25mmとなる位置に観察・測定しながら位置決めして固定し接着剤26で固着することにより、図1のような偏心スリーブ22の外周面の中心軸Bが平行光27の光軸Zとなる光コリメータ21が完成する。

### [実施例2]

図5は、本発明の他の例を示す長作動距離を有する光コリメータ31の説明図である。図中32は偏心スリーブとしてガラス製のチューブを、33は部分球面レンズを、36は接着剤を、34は毛細管を、35は光ファイバをそれぞれ示している。本例は、偏心スリーブ32としてガラス製のチューブを用いた場合であるが、相互の熱膨張係数差が $50 \times 10^{-7}/K$ 以内ならば、他の材料でもよい。

図5中の光コリメータ31を構成する偏心スリーブ32の外周面の中心軸Bと偏心スリーブ32の内孔32aの中心軸Cとを予め偏心させる偏心量δは、

$n_1$ ：光ファイバ35のコア部の屈折率

$n_2$ ：大気中の場合は空気の屈折率

$n_3$ ：部分球面レンズ33の屈折率

r：部分球面レンズ33の曲率半径

$\theta$ ：光ファイバ35の端面35aの斜め研磨角度

とすると、先出の数1のように表される。

表 3 に部分球面レンズ 3 3 の硝材として光学ガラス LaSF0·15 を使用した長作動距離を有する光コリメータ 3 1 の各パラメータの例を示す。

表 3

項目	値
$n_1$	1. 4492
$n_2$	1. 0
$n_3$	1. 7753
r	2. 75mm
$\theta$	8. 0°

上記の各パラメータを用いて数 1 により偏心量  $\delta$  を計算すると 0. 2 0 mm となる。したがって、図 5 に示す構造の長作動距離を有する光コリメータ 3 1 に用いる偏心スリーブ 3 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリーブ 3 2 の内孔 3 2 a の中心軸 C との偏心量は、表 3 に示すパラメータの場合、0. 20 mm とすればよい。

本発明の長作動距離を有する光コリメータ 3 1 は、偏心スリーブ 3 2 の外周面の直径が 1. 8 mm で、内孔の直径が 1. 25 mm となる全長が 8. 0 mm で、偏心スリーブ 3 2 の外周面の中心軸 B と偏心スリーブ 3 2 の内孔 3 2 a の中心軸 C との偏心量  $\delta$  が 0. 20 mm のガラス製チューブと、偏心スリーブ 3 2 の内孔 3 2 a に固定され屈折率が略均一な光学ガラス LaSF0·15 からなり、円柱部 3 3 a の両端に曲率中心が略同一の透光球面 3 3 b を有し、偏心スリーブ 3 2 の内孔 3 2 a に部分球面レンズ 3 3 を接着するエポキシ系樹脂からなる接着剤 3 6 を備えている。部分球面レンズ 3 3 の透光球面 3 3 b には光信号の反射を低減するため、図示しない反射防止膜が形成されている。また、外周面の直径が 1. 25 mm で全長が 4. 3 mm の毛細管 3 4 は、内部に保持した

光ファイバ35の端面35aからの反射戻り光を低減するために、毛細管34の外周面の中心軸Yに垂直な平面に対して8°に斜め研磨し、且つ端面35aに図示しない反射防止膜が形成されており、偏心スリーブ32の内孔32aに毛細管34を接着するエポキシ系樹脂からなる接着剤36を備えている。

本発明の長作動距離を有する光コリメータ31は、光ファイバ35の端面35aと部分球面レンズ33の透光球面33bが、光コリメータとして正しく作動するように光学的に適切な距離0.40mmとなる位置にエポキシ系樹脂からなる接着剤36により固定されているものである。

次に、長作動距離を有する光コリメータ31の挿入損失、反射減衰量（リターンロスとも称す）、平行光37の出射偏角（ビーム傾き角とも称す）、及び長作動距離を有する光コリメータ31の中心軸Aに対する平行光37の光軸Zの偏心量（光軸偏心とも称す）の例を表4に示す。

表 4

挿入損失	反射減衰量	出射偏角	平行光の光軸偏心
0.3dB以下	60dB以上	0.1°以下	0.015mm以下

これらの測定には波長1550nmの光を用い、また、挿入損失については、長作動距離を有する光コリメータ31を2個用いて作動距離が150mmとなるよう対向配置した状態で測定を行う。

挿入損失および反射減衰量は従来品と同等あるいはそれ以上の性能を発揮しており、実用上何ら問題は無い。

また、出射偏角は0.1°以下と長作動距離を有する光コリメータの従来品と比較すると非常に良い値となっている。さらに、長作動距離を有する光コリメータ31の中心軸Aに対する平行光37の光軸Zの偏心量が0.015mm以下となっているので、例えば先記の図1(C)と

同様に、精密なV溝上に長作動距離を有する光コリメータ31を所定の作動距離となる位置で、かつ、各偏心スリーブ32の外周面の中心軸Bが相互に一致した状態で対向させて搭載すると、無調心の状態でも入力に対して数dB程度の挿入損失で光信号の応答が得られるので、長作動距離を有する光コリメータ31どうしの調心作業が必要な光機能部品を自動調心装置などを用いて組立てる際、長作動距離を有する従来の光コリメータを用いたものに比べて作業効率が著しく改善する。

実際に、波長1550nmの光を用い、光コリメータ31を2個用いて作動距離が150mmとなるようにV溝上に対向配置させ、無調心の状態で挿入損失を測定した。その結果、入力に対して1.5dB程度の挿入損失で光信号の応答が得られ、従来品にない性能を発揮している。

さらに、図5に示す本発明の光コリメータ31は、150mmもの長作動距離を有するにもかかわらず、部分球面レンズ33の外周面の直径を1.25mmに細径化することで、外周面の直径が1.8mmの光学特性に優れた光コリメータ31を実現した。

### [実施例3]

図6は、本発明の光コリメータ21を用いたインクリメンタル型のロータリーエンコーダ40の一例を示す説明図である。ロータリーエンコーダ40とは、回転角度や回転角速度を検出するセンサの一つで、図6に示すように回転軸に信号用スリット41aを持つスケール41が直接取り付けてあり、信号用スリット41aを通過する光コリメータ21の平行光27のパルス信号で回転角を検出するセンサである。得られた回転角度を時間で微分すれば、回転角速度を検出することも可能である。

しかしながら、図6の構造では回転角度の検出はできるが、どちらの向きに回転しているのかを検出することができない。そこで、多くのロータリーエンコーダにおいては、光コリメータ21を複数個用いることで、どちらの向きに回転しているのかを検出すると共に、開始点を検出

する構造となっている。図7に示すとおり、最低3対（6個）の光コリメータ21を用いることで、回転方向と開始点を検出することができる。

図7の受光側の光コリメータ21から検出されるパルス信号、およびその信号処理を図8に示す。 $\alpha$ 相と $\beta$ 相は互いに位相が180度ずれて検出されるように配置されているが、このままで回転角度の分解能が粗いので、 $\alpha$ 相のパルス信号と $\beta$ 相パルス信号に対して排他的論理和をとることで、分解能を2倍にすることができる。

排他的論理和とは、本件発明の光コリメータ21を用いたインクリメンタル型ロータリーエンコーダ40において、 $\alpha$ 相のパルス信号と $\beta$ 相のパルス信号の入力が違う場合にONの信号を、それ以外はOFFとなる演算のことである。 $\alpha$ 相のパルス信号と $\beta$ 相のパルス信号による排他的論理和の処理結果を表5に示す。

表5

$\alpha$ 相の信号	$\beta$ 相の信号	排他的論理和の信号
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	OFF

さらに、 $\alpha$ 相のパルス信号と $\beta$ 相のパルス信号の排他的論理和を微分した結果と、 $\alpha$ 相のパルス信号と $\beta$ 相のパルス信号の排他的論理和のNOTを微分した結果の排他的論理和をとると回転角の分解能を4倍に高めることができる。

図7に示す本発明の光コリメータ21を用いたインクリメンタル型のロータリーエンコーダ40において、回転軸が正回転なのか逆回転なのかを判定するには、 $\alpha$ 相のパルス信号が立ち上がる時に、 $\beta$ 相の信号が

ONかOFFかを検出することで、正回転か逆回転かを判定することができる。

図7に示したようなインクリメンタル型のロータリーエンコーダ40は、産業用ロボットなどに多く使用されているが、本発明の光コリメータ21は、電気絶縁体のガラスまたは結晶化ガラスからなる、部分球面レンズ23、毛細管24、偏心スリーブ22、及び光ファイバ25を用いて作製されており、金属部材を全く用いていないため、1Tesla以上、即ち10000Gauss以上の高磁場中でも電磁誘導の影響を受けることがなく、例えばMRI（磁気共鳴画像）のような超伝導磁石を用いる超高磁場においても使用することができる。

図7に示したスケール41や回転軸を非金属、例えば樹脂やガラスなどを用いて作製することで、非金属材料のみで構成されたインクリメンタル型のロータリーエンコーダ40を実現することができ、高磁場にさらされる機器中においても電磁誘導の影響を受けることなく、インクリメンタル型のロータリーエンコーダ40を利用することができる。

図7に示したインクリメンタル型のロータリーエンコーダ40は本発明の光コリメータ21で構成され、得られたパルス信号を電気絶縁体の光ファイバ25により、高磁場の影響を受けない遠距離に設置されたパルス信号処理機器まで低損失で伝送することが可能である。

一般的に、光は真空中では静磁場による影響は受けないが、物質中や物質の表面で反射された光は、磁場（物質中の磁束）の影響を受けることが知られており、これらはファラデー効果や磁気カ一効果と呼ばれる物質の磁気的性質が光の偏り（以下偏光）に及ぼす作用があるが、ファラデー効果は、物質に直線偏光を通すと磁場の強さと共に光の偏光面が回転する現象であり、磁気カ一効果は、物質に直線偏光が入射したとき、主軸の向きが入射直線偏光の向きから傾いた橙円偏光が反射する現象で、どちらの効果も、偏光に作用するのみであり、回転軸に取りつけ

てその動きを検出するロータリーエンコーダ40などの光パルスを検出する方式の各種センサ用途としては、光学特性上問題となることはない。

実施例3では光コリメータ21を用いて説明したが、もちろん実施例2に示した長作動距離を有する光コリメータ31を用いて、インクリメンタル型のロータリーエンコーダ40を構成しても良い。

## 請求の範囲

1. 円筒状の偏心スリーブと、該偏心スリーブ内に円柱部が挿着され、円柱部の両端に曲率中心が略同一の透光球面を有する部分球面レンズと、該偏心スリーブ内に挿着され、中心に光ファイバを保持して傾斜している端面を部分球面レンズに向けた毛細管とを備えた光コリメータであって、

前記偏心スリーブがガラスまたは結晶化ガラスからなることを特徴とする光コリメータ。

2. 前記部分球面レンズの透光球面から出射する平行光の光軸が、前記スリーブの外周面の中心軸を中心とする半径 0.02 mm 以内の範囲にあり、且つ前記スリーブの外周面の中心軸に対して 0.2° 以内の角度範囲内にあることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の光コリメータ。

3. 一対の前記光コリメータをそれらの作動距離となる位置で、かつ、前記各偏心スリーブの外周面の中心軸が相互に一致した状態で対向配置させ、一方の光ファイバから光を導入したとき、他方の光ファイバから入力に対して -30 dB 以上の光の応答が得られるものであることを特徴とする請求の範囲 1 又は 2 に記載の光コリメータ。

4. 前記偏心スリーブが、ドローイング法により作製されたものであることを特徴とする請求の範囲 1 から 3 の何れかに記載の光コリメータ。

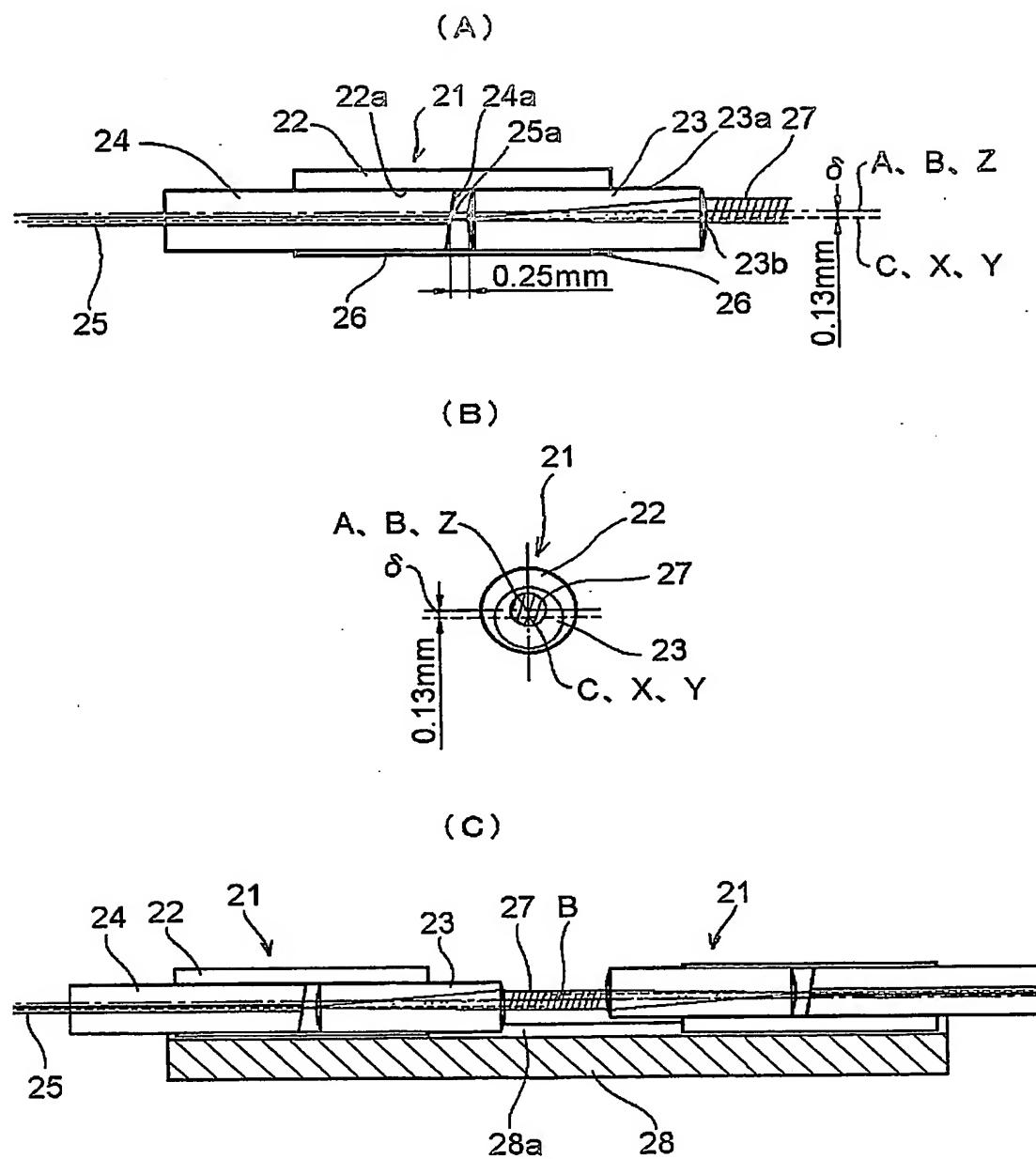
5. 前記毛細管が、ガラスまたは結晶化ガラスからなることを特徴とする請求の範囲 1 から 4 の何れかに記載の光コリメータ。

6. 前記部分球面レンズ、毛細管、及び偏心スリーブの相互の熱膨張係数差が  $50 \times 10^{-7}$  / K 以内であることを特徴とする請求の範囲 1 から 5 の何れかに記載の光コリメータ。

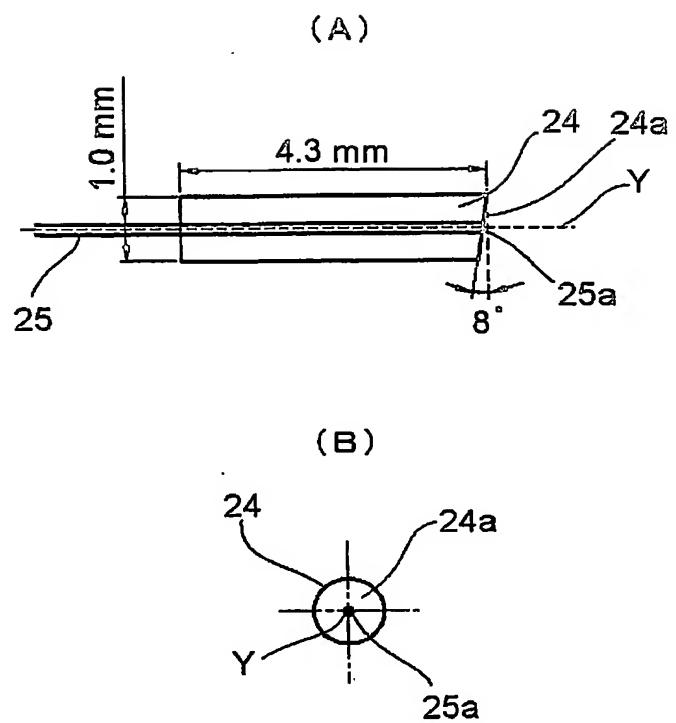
7. 前記部分球面レンズが電気絶縁体のガラスまたは結晶化ガラスからなり、1 Tesla 以上の高磁場中で電磁誘導による渦電流を実質的に起こさないことを特徴とする請求の範囲 5 又は 6 に記載の光コリメータ。

8. 最大直径が 2 mm 未満であることを特徴とする請求の範囲 1 から 7 の何れかに記載の光コリメータ。

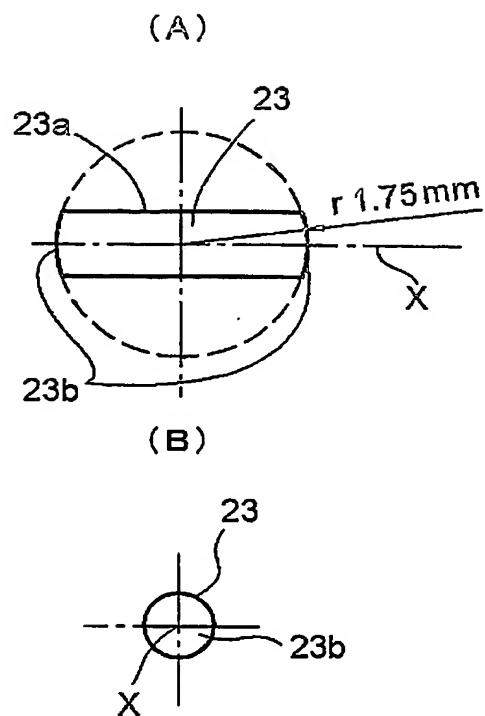
【図 1】



【図 2】

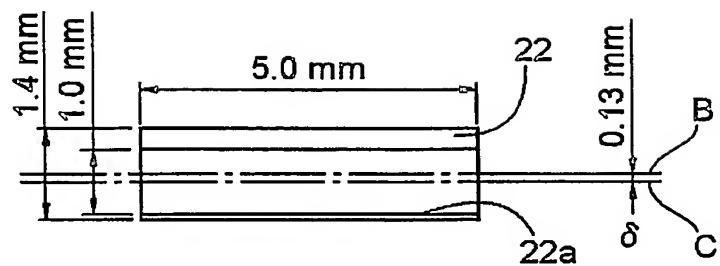


【図 3】

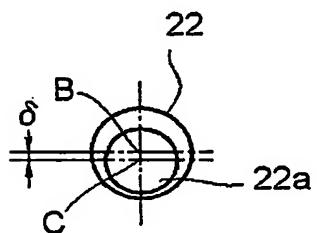


【図 4】

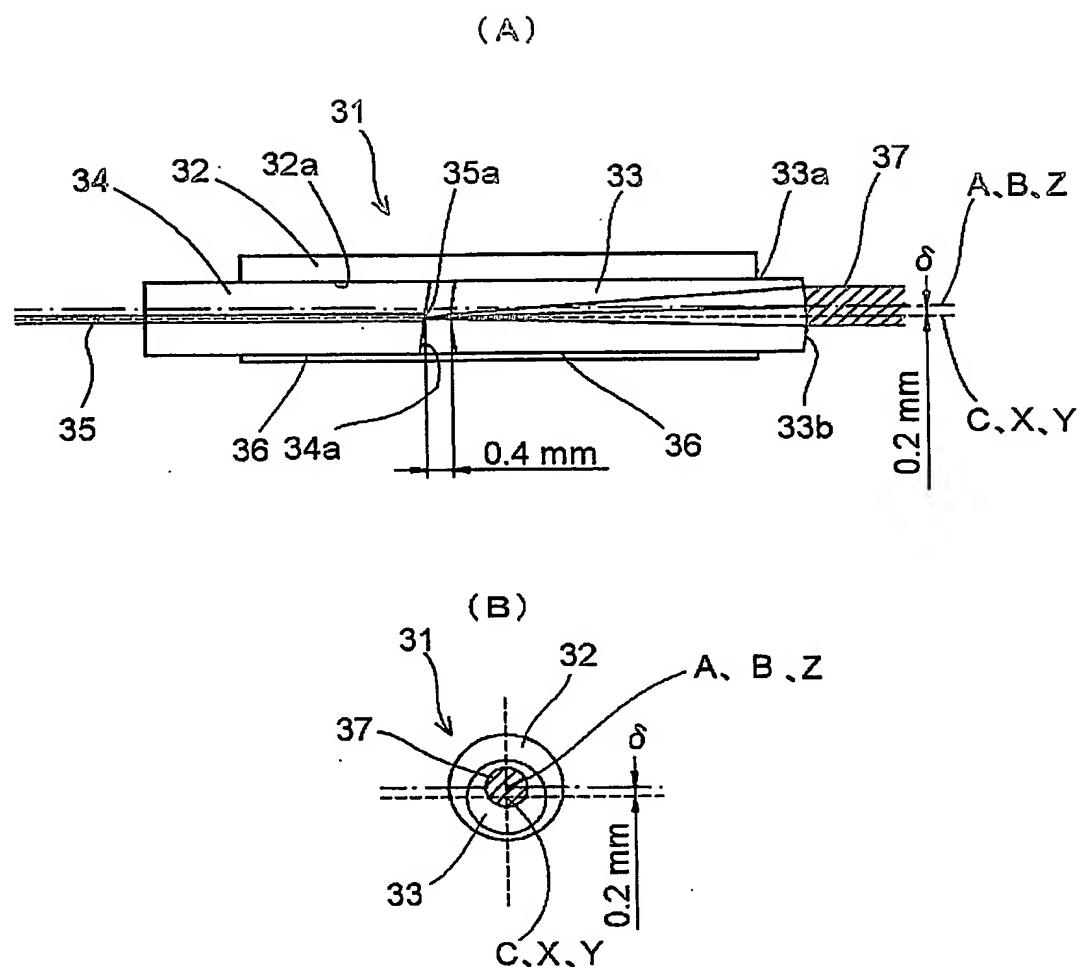
(A)



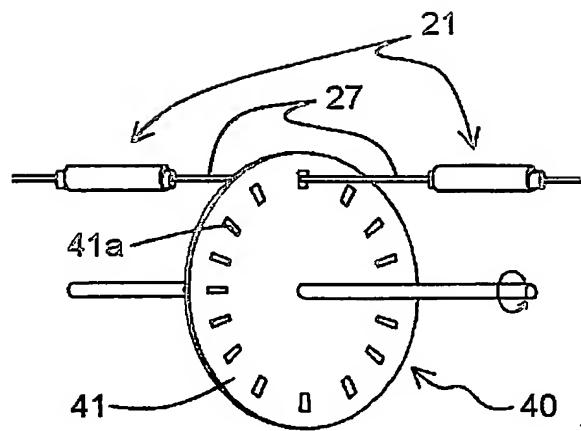
(B)



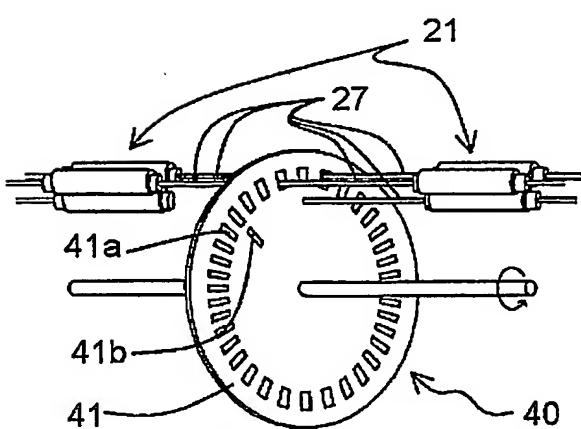
【図 5】



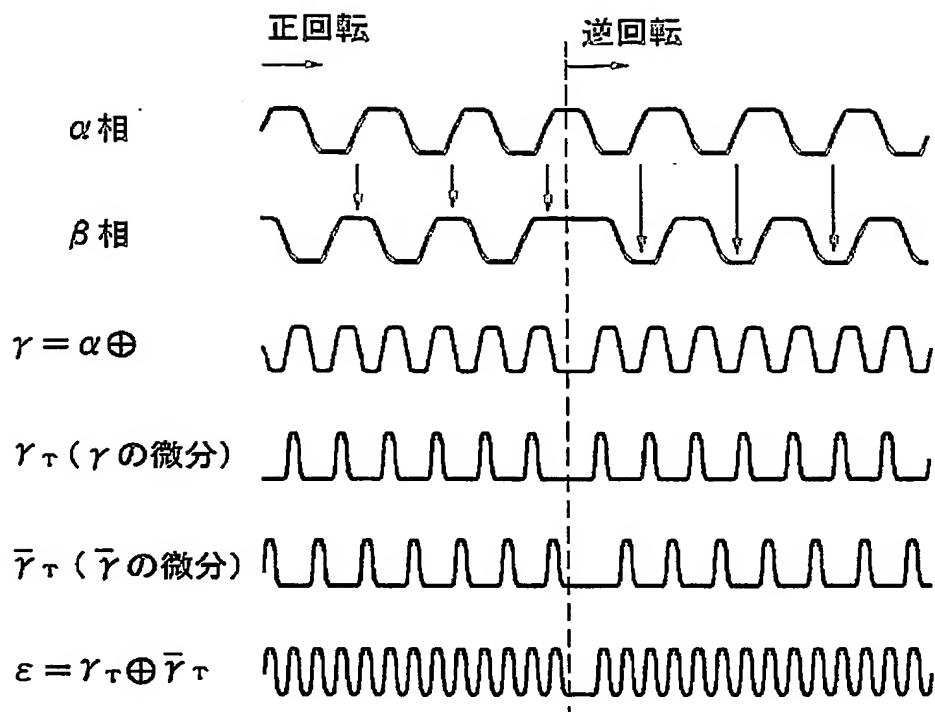
【図 6】



【図 7】

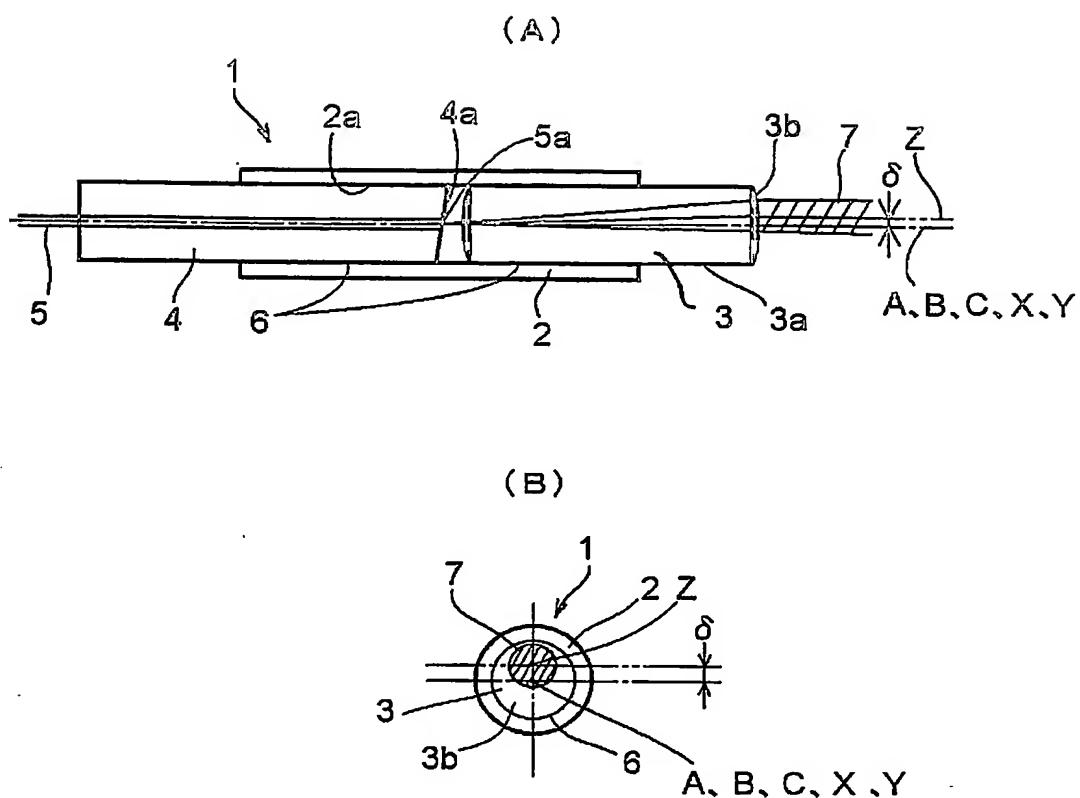


【図 8】

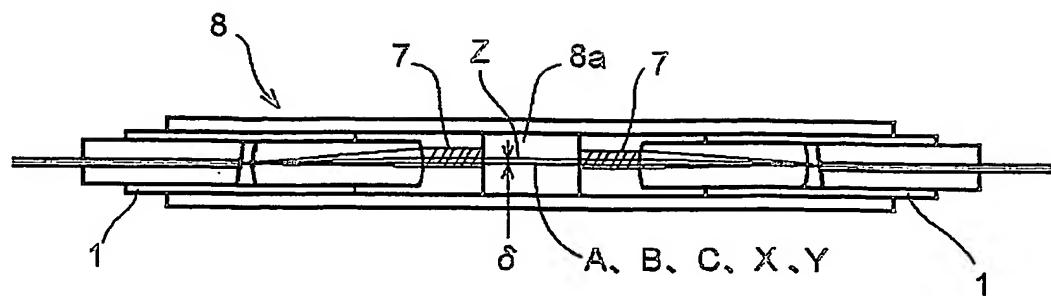


注)  $\oplus$  : 排他的論理和、 $\bar{\gamma}$  :  $\gamma$  の NOT

【図 9】



【図 1 0】



【図 1 1】

